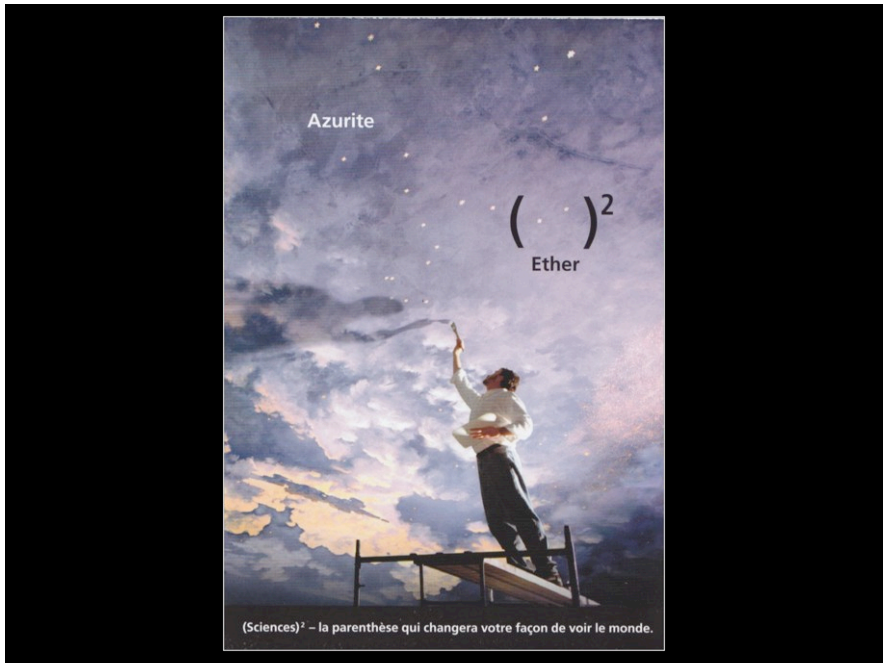


Histoire de la cosmologie

Prof. Georges Meylan

Laboratoire d'astrophysique
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

Site web du laboratoire et du cours :
http://lastro.epfl.ch

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

UNIL | Université de Lausanne

Histoire de la cosmologie

Un cours offert aux étudiants
de la Faculté des lettres,
de la Faculté de biologie et de médecine,
de la Faculté de géosciences et environnement,
de la Faculté des sciences sociales et politiques et
de la Faculté de théologie et de sciences des religions
de l'Université de Lausanne

dans le cadre de « Sciences au carré »

Histoire de la cosmologie

05 – Des mythes à la réalité – B

05.B.1 Astronomie grecque
05.B.2 La mesure du rayon de la Terre
05.B.3 La précession des équinoxes
05.B.4 Le mécanisme d'Anticythère
05.B.5 Le palimpseste d'Archimède
05.B.6 Astronomie chinoise
05.B.7 La double cosmogonie biblique
05.B.8 Astronomie dans les Amériques

Voir le fichier **05-Desmythesalarealite-B.pdf** sur le site web
du laboratoire et du cours : http://lastro.epfl.ch

Histoire de la cosmologie

05 – Des mythes à la réalité – B

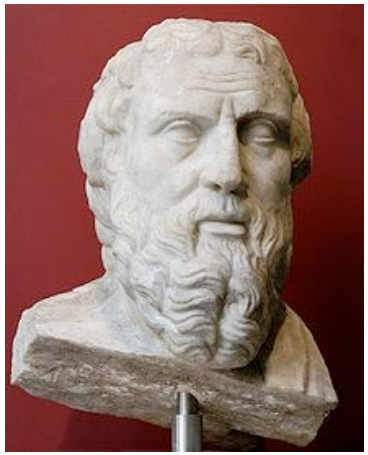
Bibliographie succincte

- ARCHIMEDE. *The Works of Archimede.* New York : Dover Publications, 1953
- DUTARTE, Philippe. *Les instruments de l'astronomie ancienne : De l'Antiquité à la Renaissance.* Paris : Editions Vuibert, 2006.
- EUCLIDE. *Elements* : Books I-VI, XI and XII. London, New York : Everyman's Library, 1955 [éd. Todhunter, Isaac].
- KELLEY, David H., MILONE, Eugene F. *Exploring Ancient Skies : A Survey of Ancient and Cultural Astronomy*. New York, Berlin : Springer-Verlag, 2011.
- MAILLARD, Louis. *Quand la lumière fut… Tome premier : Les cosmogonies anciennes, Tome second : les cosmogonies modernes* Paris : PUF, Lausanne : Edition La Concorde, 1920.

05.B.1

Astronomie grecque

- L'origine de l'astronomie se perd dans la nuit des temps…
- Des connaissances astronomiques importantes existent déjà **il y a plus de 2500-3000 ans** chez des peuples habitant l'Egypte, la Chine, la Mésopotamie et l'Inde. Mélange de religions, de philosophie, de mythes, de magie et de connaissances scientifiques.
- Un des résultats les plus remarquables des Chaldéens est la découverte de la récurrence des éclipses après une période de 6'585 jours (18 ans et 10 ou 11 jours selon que 5 ou 4 années bissextiles sont incluses), période dite « cycle du saros ». Il est probable que ce résultat ne provient pas de calculs des mouvements du Soleil et de la Lune mais simplement de l'étude des dates des occurrences des éclipses enregistrées dans des « archives ».
- **L'étude du cosmos, au sens moderne, remonte à la Grèce Antique** : les progrès de la géométrie permettent la détermination des distances à la surface de la Terre et des positions des objets dans le ciel. Ces connaissances mènent aux **premières estimations réalistes** des tailles et des distances des objets célestes. Les mouvements du Soleil, de la Lune et des planètes sont décrits de façon mathématique, permettant la prédiction des positions des planètes.
- **La science vient de Chaldée et d'Egypte pour grandir et fleurir en Grèce.**



Copie d'un portrait posthume d'Hérodote datant du IV^e^ siècle av. J.-C.
Palais Massimo alle Terme, Rome

Hérodote
né vers 482 av. J.-C. à Halicarnasse (Turquie)
mort vers 425 av. J.-C. à Thourioi (Italie)

Cicéron l'a surnommé
le « père de l'Histoire » (*les Lois*, I, 1)

Hérodote est considéré à la fois
comme le premier historien,
le premier journaliste et
le premier explorateur.
Il est également le premier prosateur
dont l'œuvre nous soit parvenue.

Hérodote parle de l'héritage des Egyptiens

- C'est Hérodote qui nous apprend que l'année civile égyptienne comprenait 365 jours regroupés en 12 mois de 30 jours, plus 5 ou 6 jours épagomènes.

« *Dans le domaine des choses humaines, ils me dirent unanimement que les Egyptiens avaient, les premiers de tous les hommes, inventé l'année, et divisé en douze parties, pour la former, le cycle des saisons ; ils avaient fait cette invention, disaient les prêtres, en observant les astres. Leur calendrier, à mon avis, est mieux combiné que celui des Grecs, puisque ceux-ci introduisent dans l'année tous les deux ans un mois intercalaire, en considération des saisons, tandis que les Egyptiens, qui font leurs douze mois de trente jours, ajoutent à chaque année cinq jours surnuméraires, moyennant quoi l'accomplissement du cycle des saisons se présente toujours pour eux à la même date* ».

Hérodote, Histoires II-4

- Un **jour épagomène** (du grec : *ἐπαγομενα ἡμερα*, jour supplémentaire) est un jour ajouté à la fin de l'année d'un calendrier composé de mois de longueur égale, afin de corriger le décalage entre les indications du calendrier et le cycle astronomique qu'il représente, c'est-à-dire l'année tropique de 365,2422 jours.

La Grèce antique

Ecole ionienne

- **Thalès** (c. 624 - c. 546 B.C., né à Milet) : la Terre est une île flottante, cosmogonie empruntée à l'Egypte, pas très différente de la cosmographie homérique. Approche néanmoins naturaliste par ses méthodes d'observations : prédit l'éclipse de Soleil du 28 mai 585 B.C.
- **Anaximandre** (c. 610 - c. 546 B.C., né à Milet) : premières cartes célestes et géographiques.
- **Anaximène** (c. 585 - c. 525 B.C., né à Milet) : l'air est la substance première. L'œil nu observe environ 3000 étoiles mais l'œil philosophique en discerne une infinité.
- **Héraclite** (c. 540 - c. 475 B.C., né à Ephèse) : premier cerveau spéculatif, qui écrit un grand ouvrage profond dont il nous reste de nombreux fragments.
- **Anaxagore** (c. 500 - c. 428 B.C., né à Clazomène) : ami de Périclès. Imagine des causes naturelles pour expliquer les phénomènes. Les astres sont privés d'attributs divins, au grand scandale des croyants.

gnomon : de Chine en Chaldée puis Egypte, en Grèce au VI^{e} siècle B.C.

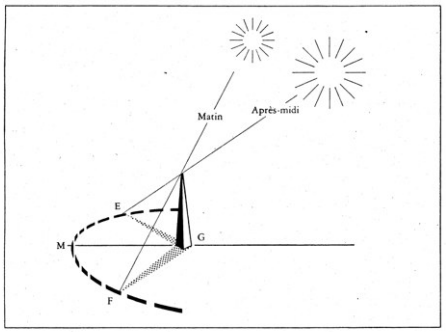
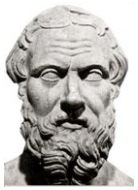


Figure 3-4 — *DÉTERMINATION DU MÉRIDIEN, AU MOYEN D'UN GNOMON G.* La ligne en tirets est une courbe (hyperbole) ayant la base du gnomon comme centre. Deux ombres de longueur égale GF et GE sont enregistrées, GF l'avant-midi et GE, l'après-midi. Le méridien GM divise l'angle en deux parties égales entre les ombres. Il est aussi possible d'utiliser les étoiles pour construire le méridien.
(D'après Olaf Pederson et Mogens Pihl)

Détermination des hauteurs. Intérêt astronomique: les rayons solaires en un lieu donné sont parallèles, donc le soleil est très éloigné et très grand.

Les atomistes

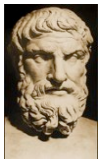


Démocrite (c. 460 - c. 370 B.C., né à Abdère) :

- « Les mondes existent dans le vide et sont en nombre infini, de différentes grandeurs et disposés de différentes manières dans l'espace : ils sont plus ou moins rapprochés, et, dans certains endroits, il y a plus ou moins de mondes. Certains de ces univers sont entièrement identiques. Ces univers sont engendrés et périssables : certains sont dans des phases d'accroissement, d'autres disparaissent, ou bien encore ils entrent en collision les uns avec les autres et se détruisent. Les mondes sont ainsi gouvernés par des forces créatrices aveugles, et il n'y a pas de providence ».
- « Dans certains univers, on retrouve des êtres vivants (animaux, plantes), d'autres en sont privés et sont privés d'eau (d'humidité). Dans certains de ces univers, il n'y a ni Soleil ni Lune, et dans ceux qui en possèdent, ils sont de tailles différentes. L'Univers dans son ensemble se développe jusqu'à ce qu'il ne puisse plus rien englober ».

Les atomistes

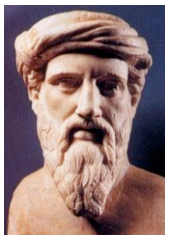
- **Leucippe** (c. 480 - c. 420 B.C., né à Milet) et
  Démocrite (c. 460 - c. 370 B.C., né à Abdère) : premier enseignement de la théorie atomique: l'espace est essentiellement vide, la matière ne le remplit pas tout entier. Les distances à la Terre des corps célestes sont fonctions de leurs vitesses: d'abord la Lune, puis le Soleil, ensuite Mercure et Vénus, toujours proches du Soleil, et enfin, Mars, Jupiter et Saturne.



- **Epicure** (c. 341 - c. 270 B.C., né à Samos) : reprend et poursuit la doctrine de Démocrite.

- **Lucrèce** (c. 95 - c. 53 B.C., né à Rome) : va en Grèce chercher des arguments contre les croyances antiques et célèbre dans son grand poème *De rerum natura* (De la nature des choses) le matérialisme d'Epicure, «le premier mortel qui ait osé s'attaquer aux dieux ».

La Terre immobile

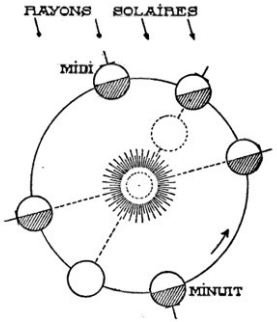


- **Pythagore**
  né en c. 580 av. J.-C. à Samos
  mort en c. 497 av. J.-C. à Métaponte

Aucun des philosophes grecs antérieurs à Pythagore n'a considéré la Terre comme une sphère. De multiples observations poussent à penser que « La Terre est sphérique. Semblable à elle-même dans toutes les directions, elle n'a ni haut, ni bas. Située au centre de tous les mouvements célestes, parce que telle est sa place naturelle, elle y demeure immobile. » Les mathématiques sont ordre, puissance et beauté. Selon Pythagore, la Nature elle-même est soumise aux lois de l'arithmétique et de la géométrie. Il existe des nombres musicaux : les cordes les plus longues rendent les sons les plus graves et découvre les règles de l'harmonie (octave, quinte, quarte, …, le ton) et transpose le tout sur la portée astronomique: les mouvements des sept corps errants sont régis par l'harmonie. Enseignement essentiellement oral.

La Terre mobile

- **Philolaüs** (c. 470 - c. 385 B.C., né en Grande Grèce) : dix , égal à la somme des quatre premiers chiffres est le nombre élu: il faut trouver dix révolutions au lieu des huit de Pythagore. La Terre tourne autour du foyer, source invisible de lumière.

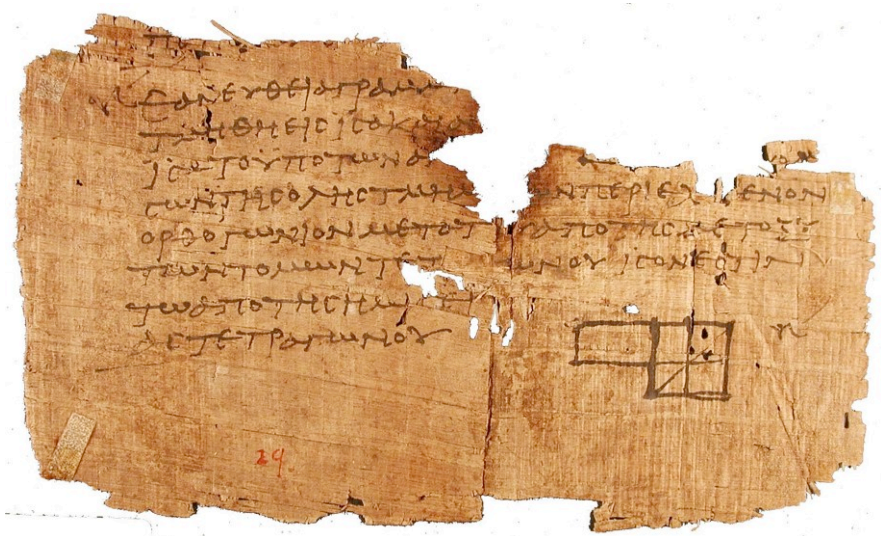


Malgré ce faux départ, Philolaüs est le premier à surmonter cette apparence et ce préjugé : l'immobilité de la Terre au centre du monde

Les polyèdres réguliers de Platon

- **Platon (c. 428 - c. 347 B.C., né dans l'île d'Egine, mort à Athènes)**

- Se consacre d'abord à la poésie, au théâtre et la musique.
- Son œuvre « Les Dialogues » nous est parvenue intacte. Elle traite de nombreux thèmes philosophiques tels que le devoir, la vertu, la sagesse, la beauté, l'amour …
- Ses origines aristocrates semblent le vouer à une carrière politique. Son père serait descendant de Codrus, dernier roi d'Athènes. Platon est à l'origine des sciences politiques. Il élabore des concepts politiques nouveaux pour son temps.
- En 399 avant J.-C., Socrate est condamné pour des raisons qui restent aujourd'hui mystérieuses. Platon, bouleversé par sa mort, entame une longue série de voyages. Durant douze années, il traversera toute la Méditerranée d'Egypte en Sicile en passant par Mégare, Cyrène, Tarente, …
- Eveillé aux mathématiques par Théodore de Cyrène (c. 470 - c. 398 B.C.) et influencé par la pensée pythagoricienne, Platon se consacre aux sciences et fonde à son retour à Athènes, dans les jardins d'Akadêmos, une école de philosophie et de sciences : « **l'Académie** ».



L'un des plus anciens diagrammes complets des *Eléments*, trouvé sur un papyrus daté d'entre 75 et 125 de notre ère (la proposition est II.5).
Collection des papyri d'Oxyrhynchus.

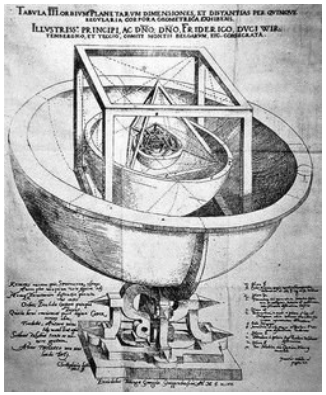
- Pour Platon, le monde s'appuie sur cinq éléments essentiels : le Feu, l'Air, l'Eau, la Terre et l'Univers. Il associe à chacun d'eux un polyèdre régulier inscriptible dans une sphère. Toutes ses faces sont des polygones réguliers isométriques : tous les côtés sont de même longueur et tous les angles sont de même mesure. Il en existe cinq et cinq seulement possédant de telles propriétés : le tétraèdre, le cube, l'octaèdre, le dodécaèdre et l'icosaèdre. Selon Platon, la perfection de ces polyèdres symbolise par excellence les cinq éléments. On les appelle aujourd'hui « Les solides de Platon ».
- **Le tétraèdre, symbole du Feu**. Il est composé de 4 faces qui sont des triangles équilatéraux. Il a 4 sommets et 6 arêtes.
- **Le cube, symbole de la Terre**. Il est composé de 6 faces qui sont des carrés. Il a 8 sommets et 12 arêtes.
- **L'octaèdre, symbole de l'Air**. Il est composé de 8 faces qui sont des triangles équilatéraux. Il a 6 sommets et 12 arêtes.
- **Le dodécaèdre, symbole de l'Univers**. Il est composé de 12 faces qui sont des pentagones réguliers. Il a 20 sommets et 30 arêtes.
- **L'icosaèdre, symbole de l'Eau**. Il est composé de 20 faces qui sont des triangles équilatéraux. Il a 12 sommets et 30 arêtes.

- **Euclide d'Alexandrie** (c. 320 - c. 260 B.C.) démontre dans ses Eléments que ces polyèdres sont exactement au nombre de cinq. Car la justification de Platon est plutôt naïve : il n'en existe que cinq car le cosmos ne contient que cinq éléments !

- Nous pouvons vérifier pour chaque solide de Platon la formule d'Euler obtenue avec le nombre F de faces, A d'arêtes et S de sommets : F+S=A+2

- Le dual d'un polyèdre : on appelle polyèdre dual d'un polyèdre régulier P le polyèdre P' dont les sommets sont les centres des faces du polyèdre P. Si P' est le dual de P, alors le dual de P' est semblable à P. Ainsi le dual d'un cube est un octaèdre régulier et réciproquement.

- A la Renaissance, **Johannes Kepler** (1571-1630) pensait que le nombre et la disposition des planètes était une manifestation de la volonté de Dieu et n'était donc pas arbitraire.



Il encastra les 6 planètes connues à l'époque dans les 5 solides parfaits platoniciens.

A chaque sphère est associée une planète, le rayon de la sphère donne la distance moyenne de la planète au soleil.

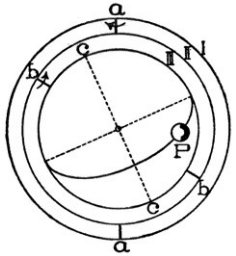
Chaque polyèdre est inscrit dans une sphère et circonscrit dans une autre.

Vénus correspondait à l'octaèdre,
la Terre à l'icosaèdre,
Mars au dodécaèdre,
Jupiter au tétraèdre et
Saturne au cube.

Kepler fera beaucoup mieux par la suite…

Les sphères homocentriques

- **Eudoxe (c. 400 - c. 347 B.C., né à Cnide)** Les mouvements des planètes doivent avoir un centre unique, la Terre immobile. Une difficulté astronomique provient de la marche étrange des cinq planètes (Mercure, Vénus, Mars, Jupiter, Saturne) qui avancent, stationnent et rétrogradent… Eudoxe est le premier des grecs à inventer un système sauvant les apparences : le mouvement de chacune des sept planètes est représenté par un système indépendant d'orbes concentriques centrées sur la Terre .



Au total, le système d'Eudoxe nécessite « l'existence géométrique » de **26 sphères** : trois pour le Soleil, trois pour la Lune, et quatre pour chacune des cinq planètes.

- **Aristote (c. 384 - c. 322 B.C., né à Stagire, Macédoine)** **utilise 49 sphères**

Portrait d'Aristote
d'après un original en bronze de Lysippe

Aristote

philosophe grec
né en – 384 à Stagire en Macédoine
mort en – 322 à Chalcis en Eubée

L'oeuvre d'Aristote et celle de Platon sont aussi semblables et aussi éloignées l'une de l'autre que les deux pôles de la Terre. Elles représentent les deux pôles de la pensée occidentale. Platon tire de la contemplation des idées séparées l'inspiration nécessaire au gouvernement de cette cité qui fut pour lui l'objet d'un souci constant. Aristote s'est consacré à l'observation de la nature, des hommes, de leurs cités, avec détachement, sans se soucier d'assurer le triomphe de ses idées sur la place publique. Par l'intermédiaire d'Alexandre, dont il fut le maître, il aura pourtant plus d'influence que Platon sur le cours de l'histoire.

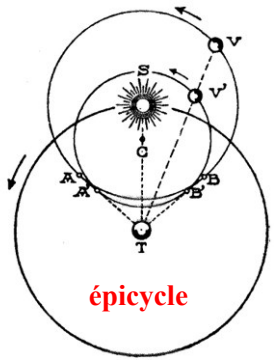
Le Soleil au centre du monde

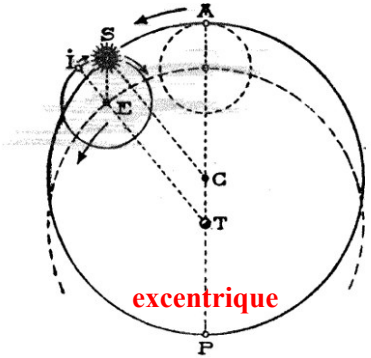
- **Héraclide (c. 388 - c. 315 B.C., né à Héraclée du Pont)** Tandis que Platon, Aristote et leurs disciples repoussent les théories hasardées sur la mobilité de la Terre, Héraclide les étudie. Il explique le mouvement diurne par une rotation directe et uniforme du globe terrestre autour de son axe passant par les deux pôles. Cette rotation s'effectue en un jour sidéral, et Héraclide a bien observé que sa durée est légèrement inférieure (de quatre minutes) à celle du jour solaire.
- Mercure et Vénus déconcertent les astronomes: leur marche sur la sphère céleste dépend visiblement de celle du Soleil. Le modèle d'Héraclide postule que le Soleil est immobile au centre du monde. La Terre et cinq autres planètes décrivent autour du Soleil des orbites circulaires. Les cercles de Mercure et Vénus sont à l'intérieur de l'orbite terrestre, tandis que les cercles de Mars, Jupiter et Saturne sont à l'extérieur. La Lune tourne autour de la Terre, dont la rotation propre produit l'apparence du mouvement diurne.
- Dès lors, la sphère céleste est brisée et Héraclide soutient un univers sans borne, peuplé à l'infini de mondes. Ces nouveautés sont considérées alors comme des jeux de l'esprit, sans sérieux et sans importance.
- **Aristarque (c. 310 - c. 230 B.C., né à Samos)** Le rayon de la sphère céleste est beaucoup plus grand que l'orbite terrestre, sinon les tailles des constellations changeraient avec la position de la Terre sur son orbite.

idées en contradiction avec l'époque, ne parviennent pas à s'imposer

Ecole d'Alexandrie: les épicycles et les excentriques

- La théorie de l'épicycle est imaginée pour expliquer les mouvements rétrogrades des planètes.
- La théorie de l'excentrique est imaginée pour expliquer les variations de la vitesse angulaire du Soleil.
- **Appolonius (c. 262 - c. 190 B.C., né à Perga)**





05.B.2

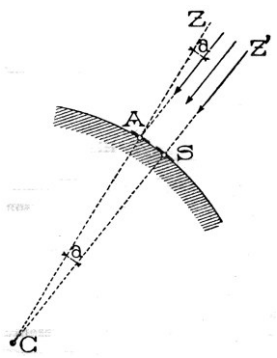
La mesure du rayon de la Terre

La mesure de la taille de la Terre

- **Eratosthène (c. 276 - c. 196 B.C., né à Cyrène, Libye)**
- Malgré les progrès réalisés par les théories géométriques de mieux en mieux adaptées aux observations, il demeure impossible alors de fixer - sauf par des rapports, d'ailleurs inexacts - les distances des astres à la Terre et les dimensions du monde.
- Une fois la sphéricité de la Terre reconnue, un problème fondamental se pose: Quelle est la grandeur du globe terrestre ?
- Eratosthène propose de considérer comme parallèles les rayons envoyés simultanément de n'importe quel point du Soleil à n'importe quel point de la Terre.

La mesure de la taille de la Terre

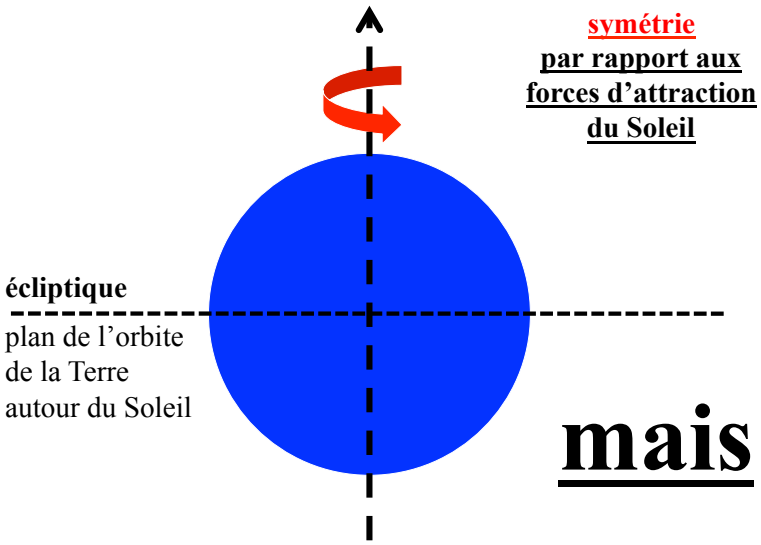
- **Eratosthène (c. 276 - c. 196 B.C., né à Cyrène, Libye)**



Il sait qu'à Syène en Haute-Egypte, au solstice d'été à midi les gnomons ne portent aucune ombre. Le Soleil est donc à la verticale du lieu, *SZ'*, au zénith, et l'on aperçoit au fond des puits l'image de l'astre. Il sait également que Syène est à peu près sur le méridien d'Alexandrie, à la distance *AS* de 5000 stades. Il suffit alors de mesurer à Alexandrie, au solstice, la hauteur *h* du Soleil à midi et de calculer la distance zénithale correspondante, soit l'angle *a*. Il trouve que *a*, égal à l'angle *ACS*, est la cinquantième partie de quatre droits (7°12'). L'arc *AS* est donc la cinquantième partie de méridien entier. Ce dernier vaut 250'000 stades de 157.5 mètres, ce qui équivaut à 39'375 km au lieu de 40'074 km actuels. Il faudra attendre le XVI^{e} siècle pour trouver plus précis…

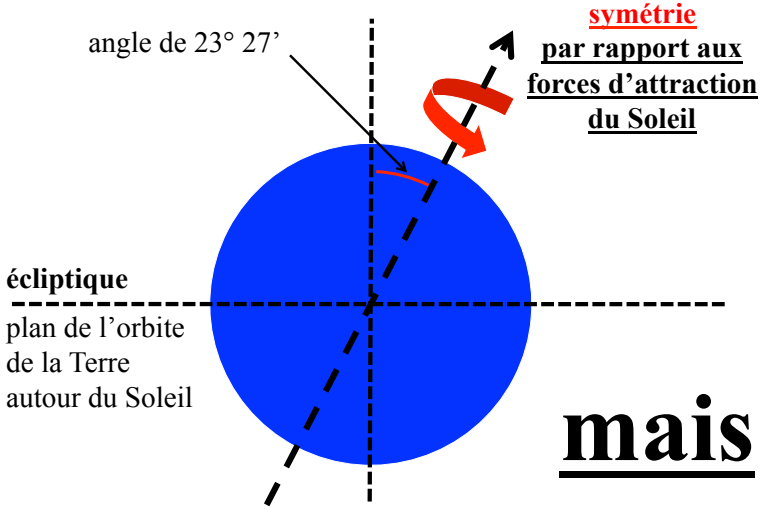
05.B.3
La précession des équinoxes

Rotation de la Terre



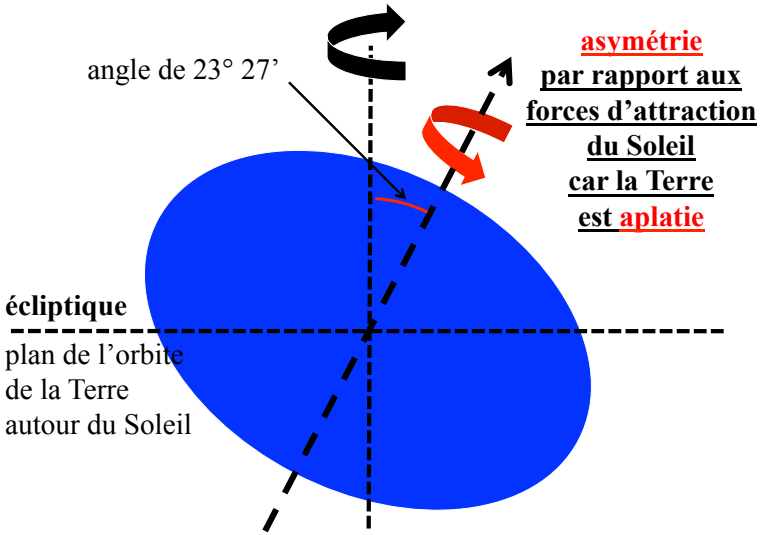
mais

Rotation de la Terre



mais

Rotation de la Terre



Grâce à la rotation autour de son axe
la Terre se comporte comme un gyroscope,
c'est-à-dire comme une toupie

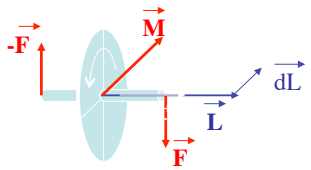
Mais à cause des effets
de l'aplatissement de la Terre
et de l'attraction gravitationnelle du Soleil
cet axe de rotation ne pointe pas toujours
dans la même direction

Effets gyroscopiques

$\vec{L}_G \;//\; \vec{\omega}$

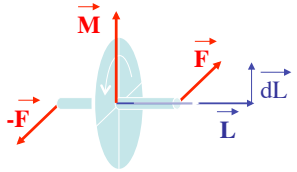
On veut changer la direction de l'axe de rotation ; comment faut-il exercer le couple de force pour que l'axe tourne autour de Ox ? ou de Oz ?

a) forces F parallèles à z



$\vec{M}$ selon -x $\vec{dL}$ selon -x
$\vec{L}$ tourne dans le plan xy

b) forces F parallèles à x



$\vec{M}$ selon z $\vec{dL}$ selon z
$\vec{L}$ tourne dans le plan yz

Théorème du moment cinétique

$$\frac{d\vec{L}_G}{dt} = \vec{M}_G^{ext} = (\vec{r} \wedge \vec{F}) + (-\vec{r} \wedge -\vec{F}) = 2\,\vec{r} \wedge \vec{F}$$

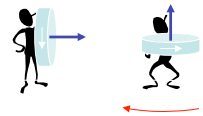
L'aplatissement de la Terre,
la rotation de la Terre autour de son axe
et l'attraction gravitationnelle du Soleil

induisent le fait

que la Terre se comporte comme un
gyroscope, c'est-à-dire comme une toupie

Effets gyroscopiques

Pourquoi le tabouret tournant (à l'arrêt quand l'axe de la roue est horizontal) se met-il en rotation quand on force l'axe de la roue à être vertical ?

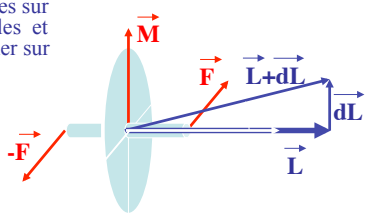


tabouret à l'arrêt tabouret tourne

- Conservation de L : si le tabouret peut tourner sans frottements sur son socle, la composante z du moment cinétique du système roue + personne + tabouret est conservée ($L_{z,tot} = 0$)
- 3ème loi : si la personne applique des forces sur la roue, la roue applique des forces égales et opposées sur la personne (qui la font tourner sur son tabouret)

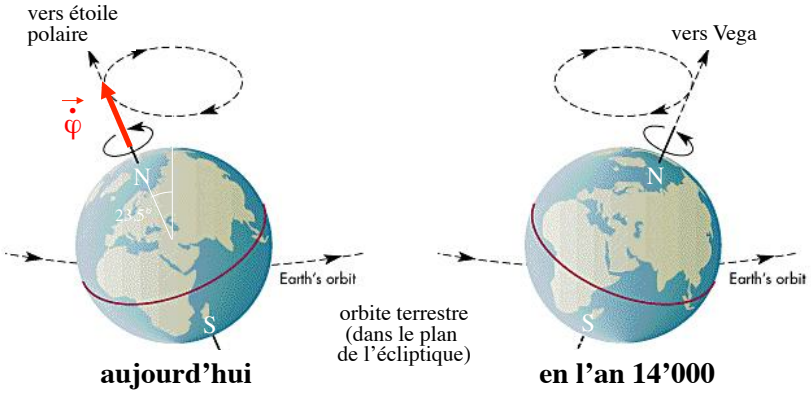
$$M = \frac{dL}{dt} = \frac{L\,d\theta}{dt} = L\,\Omega$$

$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{\Omega} \wedge \vec{L}$$



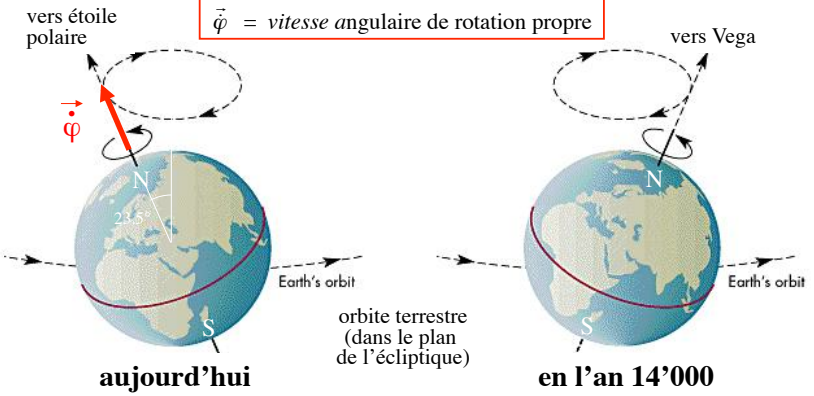
Attention : axe de rotation modifié ! $\vec{\omega}_{tot} = \vec{\omega} + \vec{\Omega} \cong \vec{\omega}$

Précession des équinoxes



Précession des équinoxes

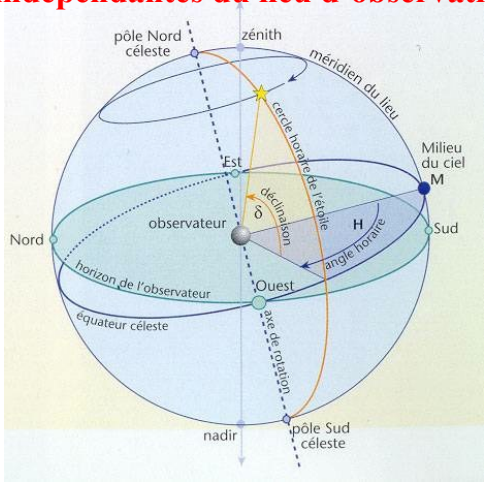
$\vec{\dot{\psi}}$ = *vitesse* angulaire de précession
$\vec{\dot{\theta}}$ = *vitesse* angulaire de nutation
$\vec{\dot{\varphi}}$ = *vitesse* angulaire de rotation propre



précession avec une période ~ 26'000 ans

Les positions en astronomie

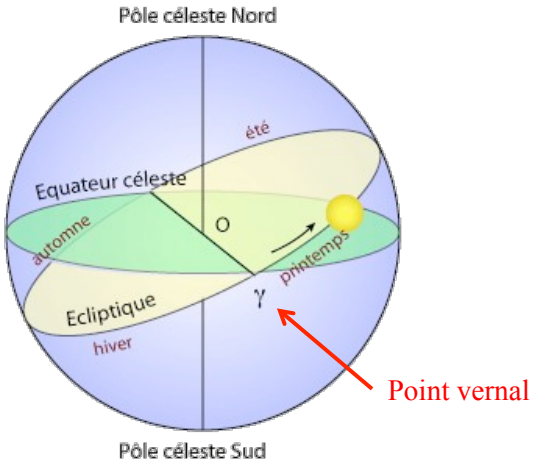
indépendantes du lieu d'observation



La position d'un point sur la sphère céleste est définie par deux coordonnées :
L'ascension droite α ou l'**angle horaire H** et la **déclinaison δ**

Les positions en astronomie

indépendantes du lieu d'observation

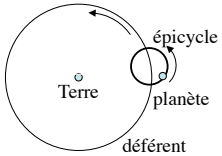


La position d'un point sur la sphère céleste est définie par deux coordonnées :
L'ascension droite α ou l'**angle horaire H** et la **déclinaison δ**
Le point vernal γ est l'intersection entre l'équateur céleste et l'écliptique

Précession des équinoxes

Hipparque
né ~ 190 av. J.-C. à Nicée
mort ~ 120 av. J.-C. à Rhodes (?)
astronome, géographe et mathématicien grec
actif au moins entre 147 et 127 av. J.-C.

• Etude du mouvement des astres (planètes) à l'aide de la théorie des épicycles



• Prédiction des éclipses

• Tailles et distances du Soleil et de la Terre

Précession des équinoxes

grâce à un catalogue d'étoiles

Une nova donne à Hipparque l'idée de composer un catalogue de 1025 étoiles et de leurs coordonnées, afin de permettre à la postérité de connaître les changements accomplis dans le ciel. C'est en confrontant ses propres observations à ce catalogue, contenant des observations vieilles de 170 ans environ (le plus ancien système d'archives scientifiques ?!), qu'il découvrit, en ~135 av. J.-C., la précession des équinoxes : les longitudes des étoiles croissent de 50 secondes d'arc par an. La sphère céleste a donc, outre la rotation diurne autour de l'axe du monde, une rotation directe, très lente, autour de l'axe normal à l'écliptique.

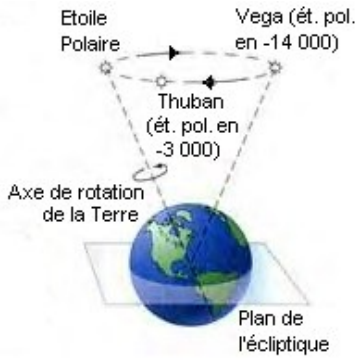
La position du Soleil à l'équinoxe de printemps se déplace par rapport aux étoiles fixes de 1,5° par siècle.

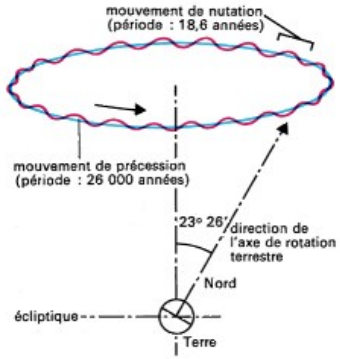
Précession de l'axe de rotation de la Terre autour de la normale au plan de l'écliptique : période ~ 26'000 ans (25'725 ans).

Egalement petite nutation de 9,2'' d'arc : période ~19 ans (18.6 ans).

Cause : moment des forces exercées par la Lune et le Soleil sur la Terre, par rapport au centre de masse de la Terre, pas sphérique mais ellipsoïdale

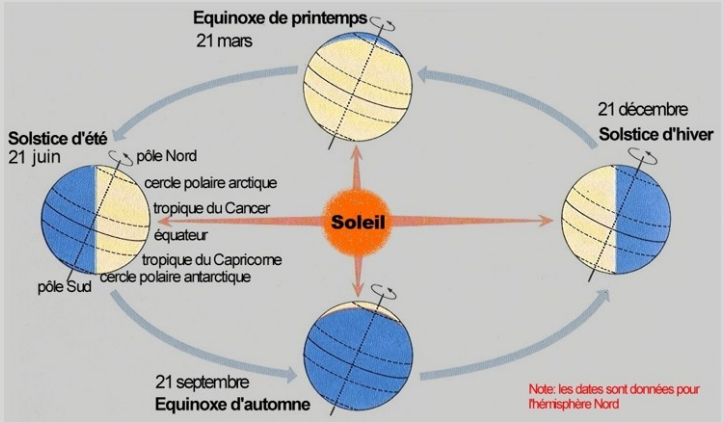
Précession des équinoxes



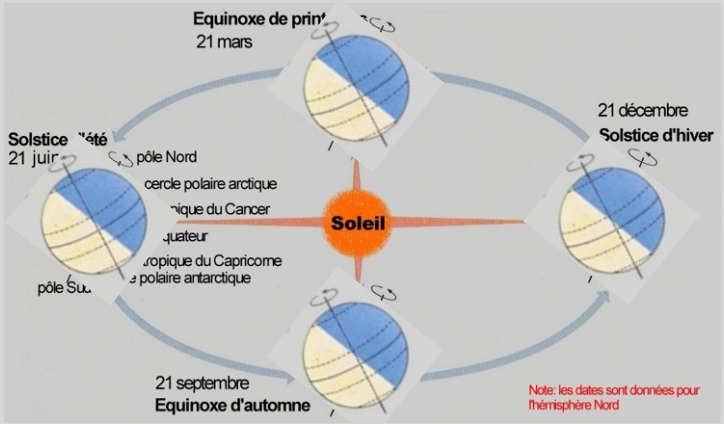


précession **nutation**

Equinoxes et solstices



Equinoxes et solstices
13'000 ans plus tard

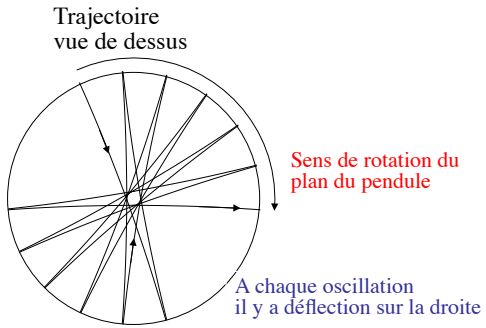


Solar Events in Greenwich Mean Time
Tropical Year = 365.2425 (days)

Year	Vernal Equinox	Summer Solstice	Autumnal Equinox	Winter Solstice	Perihelion	Aphelion
2000	3/20 7:30	6/21 1:44	9/22 17:16	12/21 13:27	1/03 23:21	7/04 14:15
2001	3/20 13:19	6/21 7:32	9/22 23:05	12/21 19:16	1/03 5:35	7/04 20:29
2002	3/20 19:08	6/21 13:20	9/23 4:54	12/22 1:06	1/03 11:49	7/05 2:43
2003	3/21 0:58	6/21 19:08	9/23 10:42	12/22 6:56	1/03 18:03	7/05 8:57
2004	3/20 6:47	6/21 0:56	9/22 16:31	12/21 12:46	1/04 0:17	7/04 15:11
2005	3/20 12:36	6/21 6:44	9/22 22:20	12/21 18:35	1/03 6:31	7/04 21:25
2006	3/20 18:25	6/21 12:32	9/23 4:08	12/22 0:25	1/03 12:45	7/05 3:39
2007	3/21 0:14	6/21 18:21	9/23 9:57	12/22 6:15	1/03 18:59	7/05 9:53
2008	3/20 6:04	6/21 0:09	9/22 15:46	12/21 12:04	1/04 1:13	7/04 16:07
2009	3/20 11:53	6/21 5:57	9/22 21:34	12/21 17:54	1/03 7:27	7/04 22:21
2010	3/20 17:42	6/21 11:45	9/23 3:23	12/21 23:44	1/03 13:40	7/05 4:35
2011	3/20 23:31	6/21 17:33	9/23 9:12	12/22 5:34	1/03 19:54	7/05 10:49
2012	3/20 5:20	6/20 23:21	9/22 15:01	12/21 11:23	1/04 2:08	7/04 17:03
2013	3/20 11:10	6/21 5:09	9/22 20:49	12/21 17:13	1/03 8:22	7/04 23:17
2014	3/20 16:59	6/21 10:57	9/23 2:38	12/21 23:03	1/03 14:36	7/05 5:31
2015	3/20 22:48	6/21 16:46	9/23 8:27	12/22 4:53	1/03 20:50	7/05 11:45
2016	3/20 4:37	6/20 22:34	9/22 14:15	12/21 10:42	1/04 3:04	7/04 17:59
2017	3/20 10:26	6/21 4:22	9/22 20:04	12/21 16:32	1/03 9:18	7/05 0:13
2018	3/20 16:16	6/21 10:10	9/23 1:53	12/21 22:22	1/03 15:32	7/05 6:27
2019	3/20 22:05	6/21 15:58	9/23 7:41	12/22 4:11	1/03 21:46	7/05 12:41
2020	3/20 3:54	6/20 21:46	9/22 13:30	12/21 10:01	1/04 4:00	7/04 18:55

Pendule de Foucault

La **démonstration expérimentale** du **mvt de rotation de la Terre** fut réalisée par **Foucault** en 1851 au moyen d'une pendule de 67 m de long suspendu sous la coupole du Panthéon à Paris.



La vitesse de rotation du plan d'oscillation est donc $-\omega \sin \lambda$ soit une rotation d'un angle $360^\circ \sin \lambda$ n un jour ou de $15^\circ \sin \lambda$ n une heure. A la latitude de Lausanne ($\lambda = 46.5^\circ$), le plan d'oscillation tourne de 11° par heure.

La mesure de la distance de la Terre à la Lune

- Hipparque met en oeuvre deux méthodes différentes, toutes deux ingénieuses et sophistiquées, et parvient à des résultats remarquables dans l'évaluation de la distance Terre - Lune : il place en effet cette distance dans une « fourchette » allant de 62 à 77 rayons terrestres, alors que la valeur réelle est de 60,2 rayons terrestres.

- A l'inverse, sa distance Terre - Soleil est considérablement sous-estimée, bien que sa méthode soit assez correcte. Ces calculs supposent inévitablement des connaissances trigonométriques relativement fines.

05.B.4
Le mécanisme d'Anticythère

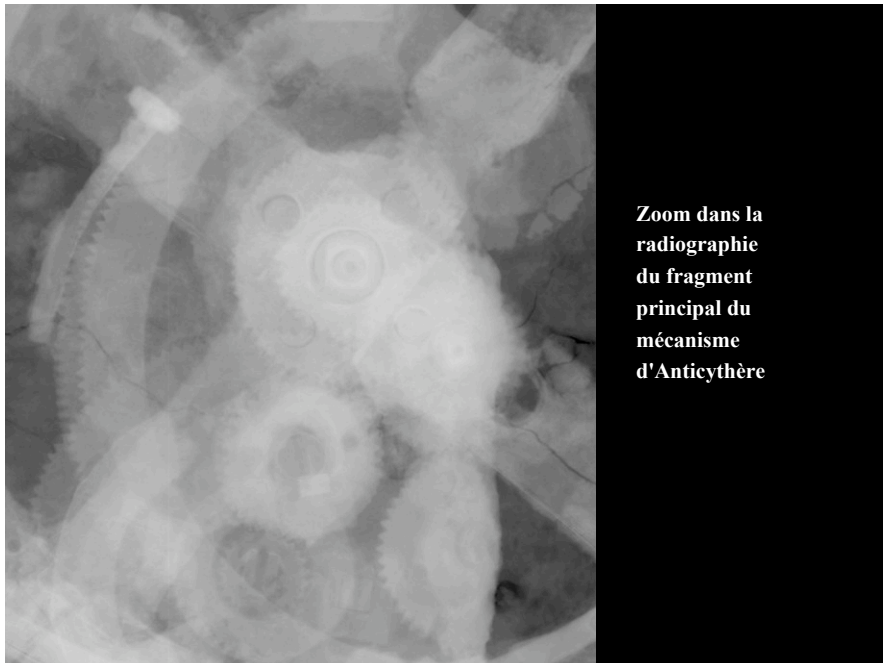
Le mécanisme d'Anticythère

- Peu avant Pâques 1900, deux caïques de pêcheurs d'éponge grecs, en route vers l'Afrique du Nord, firent escale sur la côte nord-est d'Anticythère. Le 4 avril 1900, l'un des plongeurs découvrit par hasard une épave antique gisant par 62 m de fond. Il en remonta un objet de la cargaison, la main d'une statue en bronze. Les pêcheurs n'en modifièrent pas leurs plans pour autant, et ce n'est qu'au retour, à l'automne, qu'ils avertirent les autorités grecques. Le gouvernement grec dépêcha aussitôt sur place des navires de sa marine de guerre, le 24 novembre 1900. Les opérations de renflouement de l'épave durèrent jusqu'en septembre 1901. De nombreuses statues et statuettes en bronze et en marbre en furent retirés, dont la plus célèbre est un éphèbe souvent attribué à Euphranor ou à Lysippe (ces découvertes remplissent actuellement trois salles du Musée national archéologique d'Athènes), ainsi que des objets divers (instruments chirurgicaux, lyre en bronze, etc.).
- On considère que la découverte du mécanisme à proprement parler date du 17 mai 1902 quand l'archéologue Valerios Stais s'aperçut qu'un morceau de pierre ramené du site recelait des inscriptions et des engrenages incrustés. Un examen révéla qu'en fait de pierre, il s'agissait d'un mécanisme rouillé, dont il restait trois morceaux importants et 82 fragments plus petits.

Fragment principal du mécanisme d'Anticythère

Le mécanisme d'Anticythère

- **Premières études et premières hypothèses.** Le soin et l'adresse avec lesquels cette machine fut réalisée, ainsi que les connaissances nécessaires en mécanique et en astronomie en font une énigme hellénique, astronomique, mathématique et technique, c'est-à-dire une énigme technologique.
- **Seconde moitié du XX^e^ siècle.** Le Dr Derek de Solla Price, physicien et historien des sciences à l'Université Yale, voulut vérifier s'il s'agissait d'un calculateur. En utilisant le procédé de désoxydation électrolytique et des radiographies aux rayons X, il étudia le disque et fit apparaître un dispositif extrêmement complexe, comprenant, outre la vingtaine de roues dentées déjà répertoriées, des axes, des tambours, des aiguilles mobiles et trois cadrans gravés d'inscriptions et de signes astronomiques. En 1959, il publia un article préliminaire dans *Scientific American*, puis consigna en 1973 les résultats de ses recherches dans *Gears From The Greeks: The Antikythera Mechanism, A Calendar Computer from Circa 80 BC*.
- Par la suite, Allan Bromley et Michael Wright firent des études plus approfondies et remirent en question certains aspects de la reconstruction de Price.



Zoom dans la radiographie du fragment principal du mécanisme d'Anticythère

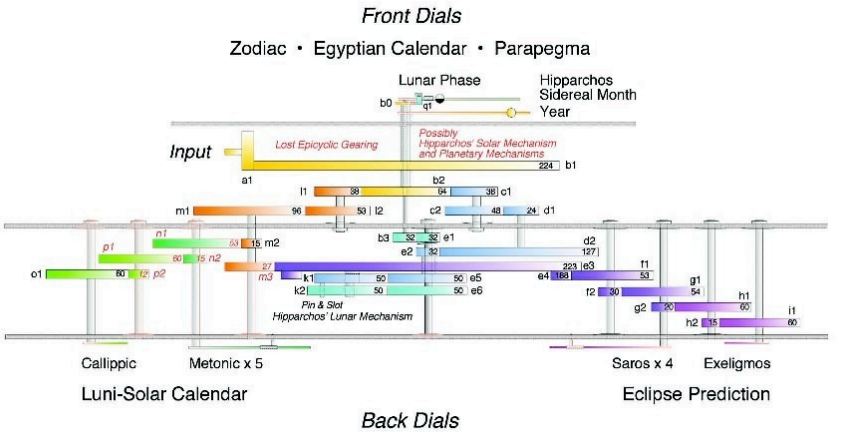
Le mécanisme d'Anticythère

- **Études au XXI^e^ siècle.** Comme il est impossible de démonter le disque sans l'endommager gravement et que les moyens d'étude classiques, tel que la radiographie, s'avéraient inadaptés, toute nouvelle étude du disque fut bloquée ; en 2000, l'astronome Mike Edmunds de l'Université de Cardiff et le mathématicien Tony Freeth eurent l'idée d'utiliser un scanner.
- Pour parachever cette nouvelle expertise scientifique, Edmunds rassembla, à l'automne 2005, une équipe pluri-disciplinaire associant des astronomes, des physiciens, des mathématiciens et des paléographes des trois universités les plus concernées : l'Université de Cardiff, l'Université d'Athènes et l'Université Aristote de Thessalonique.
- Pour Xénophon Moussas, directeur du laboratoire d'astrophysique de l'Université d'Athènes, la machine est plus complexe que les astrolabes connus jusqu'alors qui ne comportent que quelques engrenages et roues à dents. Avec son équipe, Moussas a réussi à déchiffrer 2 000 nouveaux caractères — Price n'en avait déchiffré « que » 900 —, y compris sur les disques à l'intérieur de la machine. Ces textes sont à la fois un mode d'emploi de l'appareil et un traité d'astronomie. Quatre cadrans « au moins » — et non pas trois — indiquent les positions du Soleil et de la Lune, et un plus petit des cadrans décrit les phases de la lune.

Le mécanisme d'Anticythère

- **Les inscriptions.** Elles sont composées de plus de 2 200 lettres grecques. Ces lettres gravées sur le bronze très petites de 1,5 à 2,5 mm de hauteur sont plus ou moins érodées. Leur forme indique les alentours de 100 avant J.-C..
- Les inscriptions, déchiffrées à 95%, se divisent en deux types :
- un texte astronomique « étrange » à l'avant du mécanisme (les mots Vénus, Hermès/Mercure, le zodiaque y apparaissent).
- un « mode d'emploi » à l'arrière, combinant des indications sur les roues dentées, les périodes de ces roues et les phénomènes astronomiques.
- La nature des inscriptions suggère une origine sicilienne, fruit des héritiers d'Archimède. Il apparait sur le cadran supérieur les noms de six villes accueillant des jeux panhelléniques, cinq noms ont d'ores et déjà pu être déchiffrés, dont celui d'Olympie. Ce cercle divisé en quatre secteurs tournait d'un quart de tour pour une année, décrivant ainsi le cycle d'une olympiade.

Le mécanisme d'Anticythère



© Antikythera Mechanism Research Project

Le mécanisme d'anticythère

- Il est désormais certain qu'il s'agissait d'une machine à calculer les mouvements solaire et lunaire, sans que l'on puisse parler à proprement parler d'horloge astronomique car le mécanisme semble actionné par une manivelle, un remontoir mécanique. Elle aurait pu aussi servir à prédire les mouvements de certaines planètes.
- D'autre part, la forme des caractères, comparée à celles d'autres inscriptions de la même époque, conduit les experts à dater la pièce de la fin du II^{e} siècle avant notre ère.

- http://www.antikythera-mechanism.gr/
- Musée archéologique national d'Athènes

mais quelques récents développements

- http://www.chronopassion.com/2011/07/machine-danticythere-par-hublot-qui-va-fusionner-lantiquite-au-present/?lang=fr

Le mécanisme d'anticythère

- Le mécanisme consiste en un système complexe de 32 roues et plaques portant des inscriptions relatives aux signes du zodiaque et aux mois. Les premières études des fragments suggèrent qu'il s'agissait d'une sorte d'astrolabe utilisé pour la navigation maritime. L'interprétation désormais généralement acceptée remonte aux études du professeur Derek de Solla Price, qui fut le premier à suggérer que le mécanisme est une machine à calculer le calendrier solaire et lunaire, c'est-à-dire une machine ingénieuse pour déterminer le temps sur la base des mouvements du soleil et de la lune, leur relation (éclipses) et les mouvements des autres étoiles et des planètes connues à cette époque. Le mécanisme fut probablement construit par un mécanicien ingénieux de l'école de Poséidonios à Rhodes. Cicéron, qui visita l'île en 79/78 av. J.-C. rapporte que de tels engins étaient en effet conçus par le philosophe stoïcien Poséidonios d'Apamée. La conception du mécanisme d'Anticythère paraît suivre la tradition du planétarium d'Archimède, et peut être reliée aux cadrans solaires. Son mode opératoire est basé sur l'utilisation de roues dentées. La machine est datée de 89 av. J.-C. environ et provient de l'épave trouvée au large de l'île d'Anticythère.

Objets similaires dans la littérature antique

- Cicéron évoque deux machines semblables. Cela voudrait dire que cette technologie existait dès le III^{e} siècle avant J.-C.
- La première, construite par Archimède, se retrouva à Rome grâce au général Marcus Claudius Marcellus. Le militaire romain la ramena après le siège de Syracuse en 212 avant JC, où le savant grec trouva la mort. Marcellus éprouvait un grand respect pour Archimède (peut-être dû aux machines défensives utilisées pour la défense de Syracuse) et ne ramena que cet objet du siège. Sa famille conserva le mécanisme après sa mort et Cicéron l'examina 150 ans plus tard. Il le décrit comme capable de reproduire les mouvements du Soleil, de la Lune et de cinq planètes *Cicero, De Re Publica I, 14 (22)*.
- Cicéron mentionne un objet analogue construit par son ami Posidonios *Cicero, De Natura Deorum II, 34 (88)*..
- Les deux mécanismes évoqués se trouvaient à Rome, cinquante ans après la date du naufrage de l'épave d'Anticythère. On sait donc qu'il existait au moins trois engins de ce type.

05.B.5
Le palimpseste d'Archimède

L'épave a été datée d'environ 87 avant notre ère. La machine était dotée d'engrenages de bronze d'une sophistication étonnante, alors que l'on croyait de tels rouages inventés dans l'Italie de la renaissance. Ses indications sont légion et aujourd'hui inutiles pour la plupart : le calendrier égyptien, celui des Jeux Panhelléniques (autrement dit Olympiques), la position dans le Zodiaque, les phases et la vitesse de la lune et du soleil. Y étaient joints des calendriers dont l'usage s'est depuis longtemps perdu: les cycles Callipiques, du Méton, du Saros et d'Exeligmos, de véritables inconnus au bataillon des calendriers. Ils sont une photographie de l'état de la connaissance et des croyances d'un temps révolu, loin d'être aussi en retard que l'on imaginait. On suppose que la machine incluait également des indications sur les cinq planètes alors connues de notre système solaire. Les fragments manquants le seront certainement longtemps, un tremblement de terre ayant déplacé l'épave, rendant plus improbable encore une nouvelle expédition.

Ce projet horloger est désintéressé. En hommage au passé, le calibre ne sera reproduit qu'à trois exemplaires. Le premier sera mis aux enchères et le profit de la vente sera intégralement reversé au Musée des Arts et Métiers. Le second sera exposé au Musée Archéologique d'Athènes. Le troisième intégrera les collections du musée Hublot. Le résultat de ce processus scientifique international renvoie les horlogers à leurs propres limites, sur le plan de l'organisation de la recherche comme sur celui des limites techniques telles qu'elles ont été conçues. Une leçon d'humilité face à l'Histoire.

Palimpseste

Définition du Petit Robert Edition 2004

- **Palimpseste** : n. m. 1823, h. 1542 ; du latin *palimpsestus*, du grec *palimpsestôs*

  Parchemin manuscrit dont on a effacé la première écriture pour pouvoir écrire un nouveau texte.

  Fig. « L'immense et compliqué palimpseste de la mémoire » Baudelaire

Archimède de Syracuse

Né à Syracuse vers 287 av. J.-C. et mort à Syracuse en 212 av. J.-C., est un grand scientifique de l'Antiquité classique (physicien, mathématicien et ingénieur). Très peu de détails de sa vie nous sont connus. Parmi ses domaines d'étude en physique, on peut citer l'hydrostatique, la mécanique statique et l'explication du principe du levier. Il est crédité de la conception de plusieurs outils innovants, comme la vis d'Archimède.

Archimède est généralement considéré comme le plus grand mathématicien de l'Antiquité et l'un des plus grands de tous les temps. Il a utilisé la méthode d'exhaustion pour calculer l'aire sous un arc de parabole avec la somme d'une série infinie et a donné un encadrement de Pi d'une remarquable précision. Il a également introduit la spirale qui porte son nom, des formules pour les volumes des surfaces de révolution et un système ingénieux pour l'expression de très grands nombres.

Archimède est mort pendant le siège de Syracuse où il a été tué par un soldat romain qui a agi malgré les ordres demandant de ne pas lui nuire.

The Archimedes's palimpsest

In 1906, Danish classics professor Johan Ludwig Heiberg discovered the lost manuscript and identified the underlying text as unknown writings by Archimedes. Heiberg photographed many of the pages that showed the faint Archimedes text, but missed some important passages and was unable to photograph the parts of the pages beneath the palimpsest bindings. The parchment then fell into the hands of a private collector in France, who altered and damaged parts of the palimpsest. Lost again, it resurfaced at Christie's auction house in 1998 and was purchased by an anonymous donor for $2 million. Since then, the Archimedes Palimpsest has been in the care of The Walters Art Museum in Baltimore, Maryland, where they're conserving, imaging, and deciphering it.

The Archimedes Palimpsest contains seven of the Greek mathematician's treatises. Most importantly, it is the only surviving copy of *On Floating Bodies* in the original Greek, and the unique source for the *Method of Mechanical Theorems* and *Stomachion.*

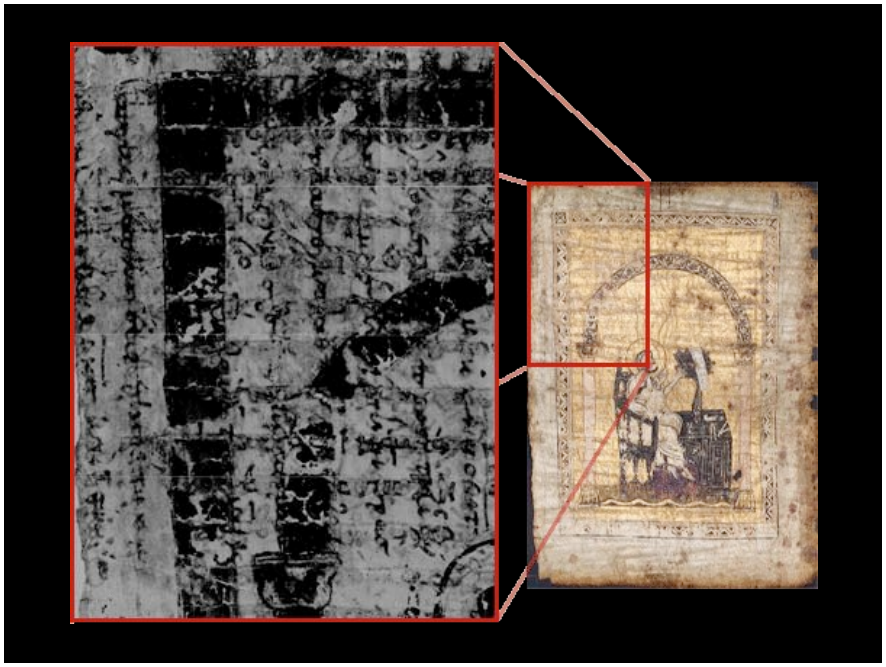
The Archimedes Palimpsest Project

The Walters Art Museum in Baltimore, Maryland, USA

The subject of this project is a manuscript of extraordinary importance to the history of science, the Archimedes Palimpsest. This thirteenth century prayer book contains erased texts that were written several centuries earlier still. These erased texts include two treatises by Archimedes that can be found nowhere else,

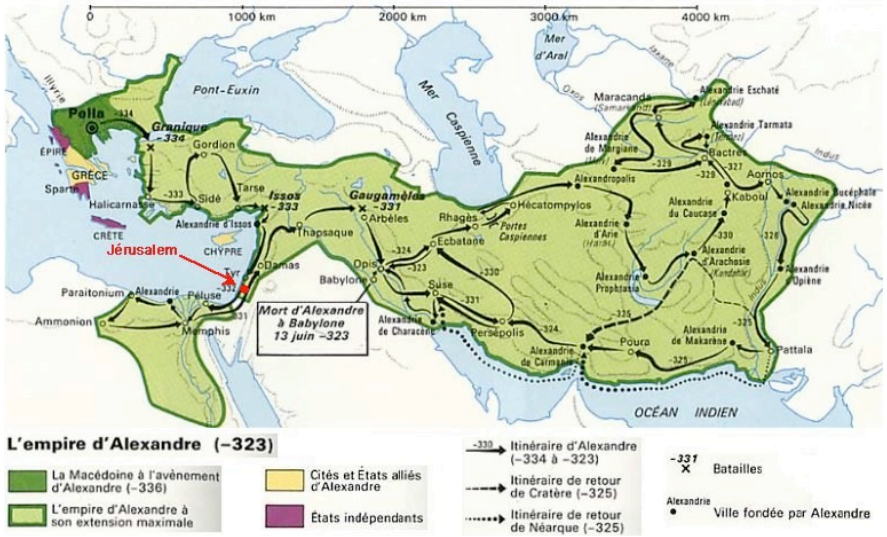
The Method and Stomachion.

The manuscript sold at auction to a private collector on the 29th October 1998. The owner deposited the manuscript at **The Walters Art Museum** in Baltimore, Maryland, a few months later. Since that date the manuscript has been the subject of conservation, imaging and scholarship, in order to better read the texts. The Archimedes Palimpsest project, as it is called, has shed new light on Archimedes and revealed new texts from the ancient world. These new texts include speeches by an Athenian orator from the fourth century B.C. called Hyperides, and a third century A.D. commentary on Aristotle's Categories.



La transmission d'informations scientifiques au cours des siècles s'avère être un processus extrêmement difficile, voire aléatoire

Empire d'Alexandre le Grand



La bibliothèque d'Alexandrie

- Après la mort d'Alexandre le Grand en - 323, un de ses généraux hérita de l'Égypte en partage. Devenu pharaon sous le nom de Ptolémée I^er^ *Sôter*, il s'attacha à faire d'Alexandrie la capitale culturelle du monde hellénistique, avec l'ambition de supplanter Athènes.

Ptolémée I^er^ *Sôter*,
Musée du Louvre, Paris

- En 288 avant notre ère, à l'instigation de Démétrios de Phalère, tyran d'Athènes de - 317 à - 307, exilé à Alexandrie et disciple d'Aristote, il fit construire un musée (*Museîon*, le « Palais des Muses ») abritant une université, une académie et une bibliothèque (estimée contenir environ 400 000 volumes à ses débuts, et jusqu'à 700 000 au temps de César).
- Située dans le quartier des palais royaux, cette bibliothèque a pour objectif premier de **rassembler dans un même lieu l'ensemble du savoir universel**.

Le destin de la bibliothèque d'Alexandrie

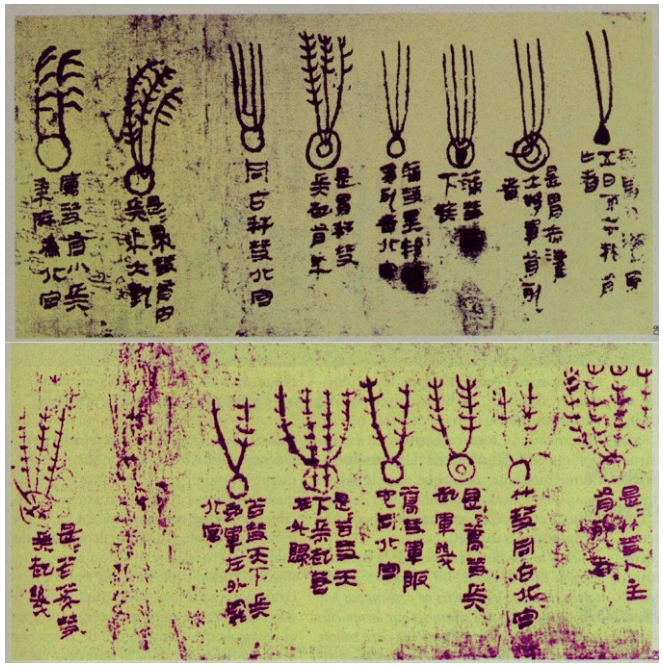
deux certitudes : (i) elle a existé (ii) elle n'existe plus

Il existe plusieurs hypothèses sur la destruction :

- **la guerre civile romaine entre César et Pompée (circa -50)**
- **les conflits de primauté politique et religieuse entre paganisme et christianisme (de +250 à +350)**
- **les conséquences de la conquête arabe (circa 650)**

Les sources fiables sont extrêmement limitées et les positions des historiens diffèrent quant aux interprétations

05.B.6
Astronomie chinoise



Le livre des comètes

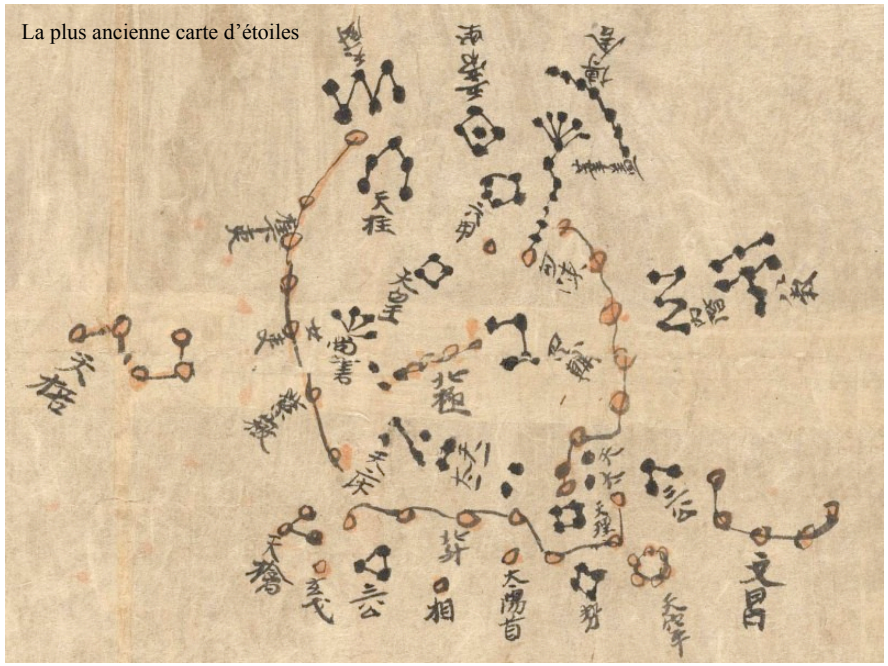
Ce parchemin de soie a été trouvé dans une tombe Han du site archéologique Mawangdui dans la province du Hunan.
C'est un véritable « textbook » qui montre 29 types de comètes (forme de la queue cométaire) et les présages qui leur sont associés.
Ce catalogue a été établi aux environs de l'an 300 av. J.-C.

Image credit: NASA/JPL

L'atlas stellaire de Dunhuang :
la plus ancienne carte d'étoiles connue

http://irfu.cea.fr/Sap/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast.php?t=actu&id_ast=2617

(© British Library)



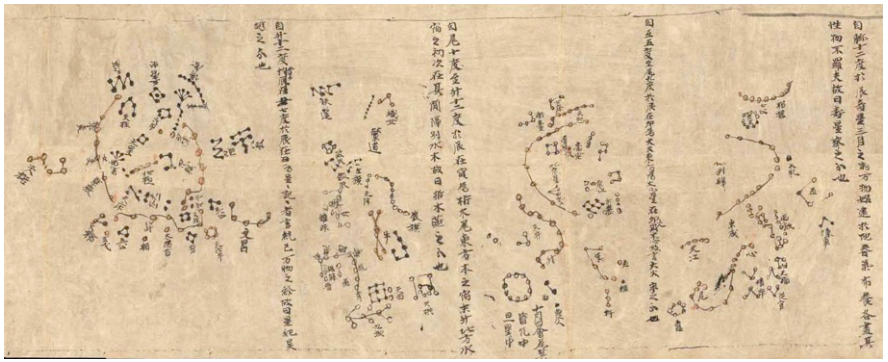
La plus ancienne carte d'étoiles connue

La redécouverte d'un précieux document chinois de la Route de la Soie

Le document, désigné sous le nom de carte de Dunhuang et conservé à la British Library de Londres, est un atlas céleste complet, découvert en 1900, parmi 40 000 manuscrits précieux entreposés dans les Caves de Mogao, un monastère bouddhique sur la Route de la Soie chinoise. Cachés dans une grotte aux alentours du XIe siècle, ces manuscrits, principalement des textes religieux bouddhiques, ont été miraculeusement préservés grâce au climat très aride. L'étude scientifique détaillée de la carte réalisée par les chercheurs a permis de conclure que l'atlas qui contient plus de 1300 étoiles a été composé dans les années +(649-684). Utilisant des méthodes de projections mathématiques précises, il conserve une précision de 1,5 à 4° pour les étoiles les plus brillantes. C'est la plus ancienne carte d'étoiles connue toutes civilisations confondues et la première représentation graphique de l'ensemble des constellations chinoises.

Les grottes des Mille Buddhas

- Le site a été créé vers l'an +360 et abandonné à la fin de la période mongole. Aux environs de l'an +1000, une des grottes fut apparemment scellée pour sauvegarder une collection de plus de 40 000 précieux manuscrit et documents imprimés avec, parmi eux, le plus ancien livre imprimé du monde. La cave murée fut redécouverte par hasard et ouverte quelques années seulement avant l'arrivée en 1907 de l'archéologue hongrois naturalisé anglais, Aurel Stein. Celui-ci a donc été le premier européen à voir le contenu de la grotte.
- Le climat très aride de la région a contribué à l'excellente conservation de ces manuscrits écrits sur papier chinois en de multiples langues. La plupart des textes sont des écrits religieux sur le bouddhisme mais quelques uns concernent aussi la médecine, la divination et l'astronomie. Parmi eux, un rouleau de papier très fin, aujourd'hui connue sous le nom de la carte céleste de Dunhuang, qui fut emportée par Stein avec 7000 autres documents et expédiée au British Museum de Londres. Bien que cataloguée dans les règles, la carte d'étoiles fut relativement oubliée bien que son importance ait été notée vers 1955 par le célèbre sinologue Joseph Needham. A part de courtes descriptions publiées en Chine sur la base d'études de fac-similés, aucune analyse complète n'avait encore été effectuée jusqu'ici.



Une fraction de la carte de Dunhuang montrant trois sections du ciel le long de l'équateur suivies de la région circumpolaire (à gauche) (© British Library).

Un atlas complet du ciel

- L'étude scientifique a été initiée à l'occasion de l'exposition de la carte à la British Library en 2004.

- Le document est un rouleau de papier chinois très fin d'une longueur totale de 394 cm et de 25 cm de hauteur, écrit sur une seule face. Le début du rouleau est manquant et le document est divisé en deux parties différentes. La première section est un texte de divination par les nuages contenant les dessins de différents nuages. Elle est suivie par la carte céleste constituée de douze panneaux rectangulaires le long de l'équateur céleste terminée par une carte circulaire de la région du pole Nord. Un total de plus de 1300 étoiles est distribué en 257 astérismes différents, les constellations chinoises selon la tradition chinoise très ancienne décrite dans des catalogues d'étoiles antiques. En particulier, les étoiles sont réparties en trois groupes de couleurs différentes pour distinguer les trois catalogues anciens élaborés durant la période des Royaumes Combattants (– 476 à – 221). Le document est dessiné très soigneusement à la main, avec le nom indiqué pour la plupart des constellations.

Une connaissance approfondie des projections géométriques

- Une étude numérique de l'atlas a fourni des résultats importants. L'atlas n'est pas un simple relevé approximatif fait à la main mais a été établi suivant des règles précises de projection. Les projections utilisées ont été une projection cylindrique pure ou de Mercator pour les cartes rectangulaires et une projection azimutale-équidistante ou stéréographique pour la carte circulaire.

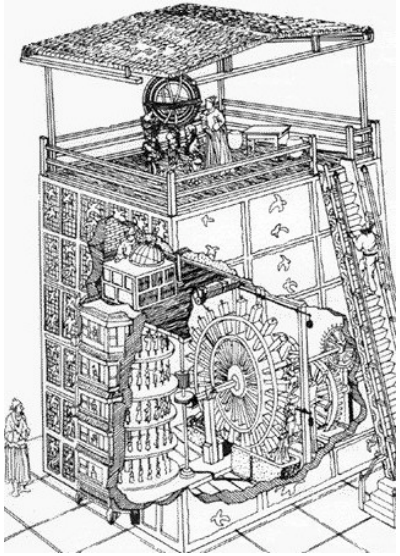
- De telles projections sont exactement similaires à celles utilisées aujourd'hui pour produire les cartes modernes mais elles n'ont été introduites en Europe occidentale qu'autour du XVIe siècle par des géographes comme Mercator, plusieurs siècles après leur usage en Chine.

Un document astronomique du début de la dynastie des Tang

- La datation de la carte a été une véritable enquête policière. Le début du rouleau étant manquant, le titre et le nom de l'auteur ne sont pas disponibles. Mais dans la première partie du rouleau dédiée à l'étude des nuages, une mention très claire est faite au nom de Li Chunfeng (+602-670), un astronome et mathématicien extrêmement célèbre de cette époque qui pourrait donc être l'auteur. Cette même époque est également corroborée approximativement par la position du pole Nord sur la carte circulaire des régions circumpolaires. La preuve finale a été fournie par une particularité étonnante de la langue chinoise ancienne, les caractères « tabous ». Durant le règne d'un empereur chinois, par respect, les caractères qui composaient le nom de l'empereur ne pouvaient être employés dans les textes officiels. On utilisait alors une forme légèrement différente, en changeant par exemple un trait du caractère. Ces caractères modifiés qui étaient connus sous le nom de caractères « tabous » marquent donc une époque très précise de règne. Grâce à eux, il est possible de savoir que le document a été produit après le règne de l'empereur Taizong (+649) et avant celui de Ruizong (+684).

La plus ancienne carte d'étoiles

- La carte céleste de Dunhuang est la plus ancienne carte d'étoiles existante. D'autres cartes ont peut-être été produites par des astronomes anciens comme le grec Ptolémée (+83-161) ou le chinois Chen Zhuo (+220-280) mais aucune trace ne subsiste de ces tentatives. D'autres découvertes archéologiques anciennes sont souvent qualifiées de cartes, comme le zodiaque de Dendérah actuellement au Louvre daté de l'an – 50 ou le globe de Farnèse (+150). Mais dans les deux cas, il s'agit seulement de dessins des personnages de constellations sans indication des positions des étoiles. En dehors de la Chine, les premières cartes célestes ont été l'œuvre de l'astronome persan Al-Sufi (+986) qui montre la position des étoiles qui composent les constellations mais ne fournit pas la position relative sur l'ensemble du ciel. En Europe occidentale, c'est sur un document plus tardif, le manuscrit de Vienne (+1440) que l'on trouve pour la première fois les positions des étoiles sur l'ensemble du ciel.
- L'atlas de Dunhuang, qui décrit l'ensemble du ciel boréal, précède donc tous ces travaux de plusieurs siècles. Il révèle aussi le remarquable niveau de la science chinoise dans l'usage des projections mathématiques.

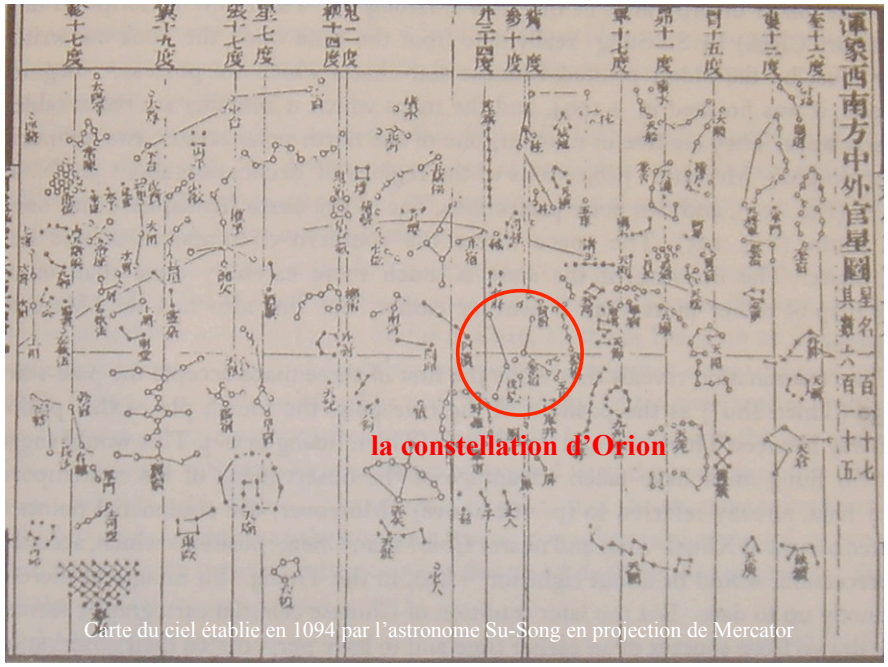


Horloge à eau de Kai Feng

- Une tradition d'horloges à eau existait en Chine depuis 200 av. J.C.
- La machine (dessin ci-contre) fut construite par Su-song en 1092 et se trouvait dans les étages supérieurs du palais impérial de Khaifeng (1092-1126). En 1126 elle fut démontée par les Tartares et emportée à Pékin. Elle était constituée par :
- (i) une tour de bois de 3 étages de 3m chacun,
- (ii) en bas, la roue d'échappement et la transmission du mouvement,
- (ii) En haut, une sphère armillaire et un globe céleste avec 1280 étoiles, Soleil, Lune, planètes placées manuellement. On dit que "les observations du ciel coïncidaient parfaitement avec celles de la machine ».

Horloge à eau de Kai Feng

- Une tradition d'horloges à eau existait en Chine depuis 200 av. J.C.
- La machine (maquette ci-contre) fut construite par Su-song en 1092 et se trouvait dans les étages supérieurs du palais impérial de Khaifeng (1092-1126). En 1126 elle fut démontée par les Tartares et emportée à Pékin. Elle était constituée par :
- (i) une tour de bois de 3 étages de 3m chacun,
- (ii) en bas, la roue d'échappement et la transmission du mouvement,
- (ii) En haut, une sphère armillaire et un globe céleste avec 1280 étoiles, Soleil, Lune, planètes placées manuellement. On dit que "les observations du ciel coïncidaient parfaitement avec celles de la machine ».



Carte du ciel établie en 1094 par l'astronome Su-Song en projection de Mercator

05.B.7

La double cosmogonie dans le livre biblique de la Genèse

Première séquence de la Genèse : Chapitre I

Création des cieux et de la Terre
Sépare les ténèbres et la lumière
Sépare les terres et les mers
Crée la végétation
Crée le soir et le matin, la nuit et le jour
Crée les étoiles, des signes pour marquer les époques
le Soleil pour le jour, la Lune pour la nuit
Crée les animaux dans les mers et sur les terres
Crée l'homme et la femme

Deuxième séquence de la Genèse : Chapitre II

Création des cieux et de la Terre
Crée l'homme
Crée la végétation
Crée les animaux dans les mers et sur les terres
Crée la femme

Deuxième séquence de la Genèse : Chapitre II

Création des cieux et de la Terre
Crée l'homme
Crée la végétation
Crée les animaux dans les mers et sur les terres
Crée la femme

Deux chronologies contradictoires
qui illustrent la compilation différents textes
ayant généré ces chapitres bibliques

Gravure datant probablement du Moyen-Age

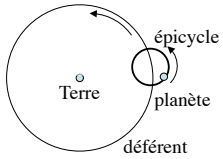
Claude Ptolémée

mathématicien, astronome et géographe grec d'Alexandrie
né en ~90 à Thébaïde, Haute-Égypte
mort en ~168 à Canope

Sur la vie de Claude Ptolémée, les historiens des sciences possèdent peu d'éléments. Il semble qu'il quitta peu Alexandrie. Il rassembla en géographie et astronomie un savoir immense qui fit la synthèse de huit siècles d'observations et qui resta pendant près de quinze siècles, jusqu'à Copernic et Kepler, l'ouvrage de référence de l'astronomie (Almagest).

- **Ptolémée :** Son principal titre de gloire est « La grande composition mathématique de l'astronomie », écrite entre 142 et 147 A.D., qui devient la bible des astronomes alexandrins. Les arabes, qui prennent Alexandrie en 640, traduisent cet ouvrage et lui donnent le titre « al Majesti » (le Grand). Cet ouvrage est connu durant tout le Moyen Age sous ce nom, « Almageste », dans une traduction latine faite en Allemagne au XIII^{e} siècle. Du II^{e} au XIV^{e} siècle, les doctrines de Ptolémée font la loi dans la science astronomique.

- **Ptolémée**, inspiré par **Hipparque** (~ 190 - 120 av. J.-C.), suppose :
  - Terre au centre, Soleil à vitesse constante sur un cercle légèrement décentré
  - Planètes à vitesse constante sur des cercles (épicycles) dont les centres sont à vitesse constante sur d'autres cercles (déférents) centrés sur la Terre



En accord avec des observations de qualité médiocre, les modèles géocentriques de **Ptolémée** et d'**Aristote** ont prévalu pendant quinze siècles, durant tout le Moyen Age jusqu'au 16e siècle !

Aristote et les philosophes grecs

Il existait deux raisons distinctes qui amenaient Aristote à penser
que les astres, les étoiles, les planètes, le cosmos tout entier,
échappaient à la genèse et à la corruption.

1) Aristote était un expérimentateur, un naturaliste, un homme d'expérience et et un philosophe de l'expérience. Il pensait, comme nous, que l'analyse philosophique doit procéder à partir d'un donné expérimental, si possible scientifiquement exploré.

Il n'existait aucun moyen d'approche expérimentale des astres, afin de connaître leur conditions physique et chimique.

2) La seconde raison est théologique : il pensait que les astres sont des divinités, des substances divines. Comme Platon, il pensait que l'Univers est divin.

Aristote et les philosophes grecs

Ils pensaient que les astres, tels que le Soleil, les autres étoiles et les planètes,
échappent à toute genèse, à toute corruption (évolution), au devenir et à toute fin.
Ils distinguaient donc dans l'Univers deux étages ou deux classes d'objets :
les objets situés dans le monde sublunaire, c'est-à-dire sur la Terre,
qui naissent et qui meurent,
et les autres, tels les astres, qui échappent à la genèse et à la corruption (évolution),
à tout devenir, et qui par là même sont éternels et incorruptibles.

Nous savons en ce début de XXI^{e} siècle que cette partition des objets entre corruptibles et incorruptibles, soumis et non soumis au devenir, est fausse.
Toutes les réalités empiriques, toutes les réalités de l'Univers et de la nature sont soumises à la loi de la naissance et de la mort, de la genèse et de l'évolution.

… en Europe
la science va essentiellement stagner
pendant 15 siècles …
qui seront le temps nécessaire
à l'humanité pour passer
du géocentrisme à l'héliocentrisme

S’il est indéniable
que la science stagne pendant 15 siècles,
il n’en demeure pas moins évident
que d’autres actions méritoires
« sauvent l’honneur » de l’humanité…

05.B.8
Astronomie
dans les Amériques

Mayas

sommet de cette civilisation
entre 250 – 900 après J.-C.

Aztèques

sommet de cette civilisation
entre le 13e siècle et 1519
(Hernan Cortes)

Incas

sommet de cette civilisation
entre le 13e siècle et 1532
(Francisco Pizarro)

Maya, Aztèque, Inca

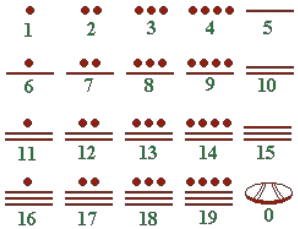
Ces trois **civilisations** précolombiennes ont connu leurs apogées entre le VIe siècle et le XVIe siècle de notre ère avant d’entrer en décadence et de disparaître lors de la conquête espagnole au XVIe siècle. Ce sont les trois grandes civilisations qui ont marqué le Nouveau Monde avant l’arrivée des Européens.

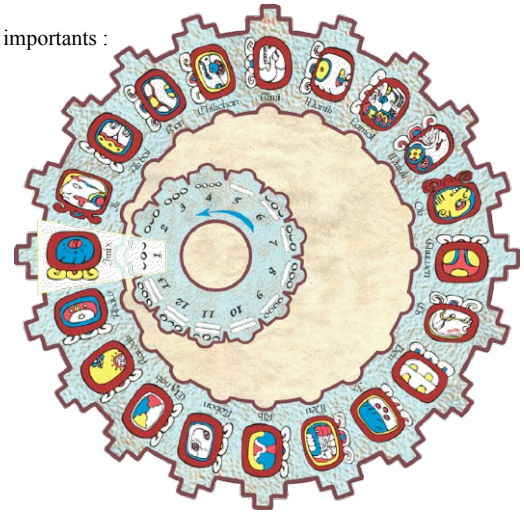
Leurs héritages sont principalement architecturaux, comme en témoignent les imposantes ruines de palais et temples pyramidaux. La civilisation Maya est également connue pour avoir développé des savoirs en mathématiques et en astronomie (calendrier).

Le calendrier des Mayas

Les Mayas utilisaient deux cycles importants :

- le tzolkin,
  année sacrée de 260 jours
- le haab,
  année civile de 365 jours





Le calendrier des Mayas

Le *Codex de Dresde est le* plus évolué des Codex : il présente un calendrier associant aux jours de l'année les dieux correspondants. Il détaille le calendrier maya et son système numéral. Le codex est rédigé sur une longue bande de papier pliée en accordéon pour composer un livre de 39 feuillets. Les scribes Mayas l'ont probablement rédigé peu avant la conquête espagnole. Il apparait en Europe où la Bibliothèque Royale de la Cour de Saxe l'acquiert en 1739.

Le calendrier des Mayas

Stèle dite de Madrid, vers 600 - 800
trouvée à Palenque en 1785
lors des fouilles conduites par Antonio del Río.

Elle formait un bas-relief dans un palais
figurant un *bacab* posé sur une tête d'Imix,
ici un crocodile, qui est aussi le nom
du premier jour du calendrier maya.

Musée des Amériques, Madrid, Espagne.

Chronique inca

GKS 2232 4º: Guaman Poma

A New Chronicle
Several decades after the fall of the Inca empire, a native Andean from the area of Huamanga in the Southern Peruvian Andes wrote to king Philip III of Spain. Felipe Guaman Poma de Ayala's aim was to seek the reform of Spanish colonial governance in order to save the Andean peoples from the destructive forces of colonial exploitation, disease, and miscegenation.

Finding his most persuasive medium to be the visual image, he composed 398 full-page drawings which are an integral part of his 1200-page Nueva corónica y buen gobierno.

http://base.kb.dk/manus_pub/cv/manus/ManusIntro.xsql?nnoc=manus_pub&p_ManusId=253&p_Lang=main

Avant la Renaissance européenne
des 14ième, 15ième et 16ième siècles,
seule la civilisation grecque a élevé
l'astronomie au rang de science
grâce au génies tels que Thalès, Démocrite,
Pythagore, Platon, Aristote, Héraclide,
Eratosthène, Hipparque, Ptolémée,
qui prédisent les éclipses, découvrent la précession des équinoxes, déterminent le rayon de la Terre ainsi que les distances Terre-Lune et Terre-Soleil